

6 Water Life Cycle Assessment

6.1 はじめに

Water Life Cycle Assessment (WLCA) とは、原材料の採取から組み立て・加工、運用、維持、廃棄に至る一連のライフサイクルを追跡し、「水」という観点で評価を行おうとするものである。WLCA は、本質的には、従来までのライフサイクルアセスメント(LCA)と同じものである。しかし、従来の LCA では、取排水の「総量」と排水の「水質」という 2 点のみに評価の重点が置かれてきた。これに対し、WLCA では水の「取水源」や「用途」までも評価の対象としている。

「ライフサイクルにおける環境影響を評価する」という LCA の本来の意味に立ち戻れば、使用した水の「総量」あるいは「水質」だけで環境影響を評価することは不十分である。水には持続可能な水（グリーンウォーター）と持続不可能な水（ブルーウォーター）という 2 種類の水が存在するが、工業用水として用いられている水のほとんどは、持続不可能なブルーウォーターである。ブルーウォーターとは地下や河川から取水された水であるが、涵養量を上回る量の地下水を取水すれば地下水は枯れてしまい、河川水をくみ上げすぎれば河川環境を変化させてしまう。水の用途についても、ボイラー用水や原料用水として使われた水は消費されてしまい、水資源として再利用することが不可能となる。よって、工業用水の総量や水質だけでなく、取水源や用途に関しても評価を行うことは、WLCA での重要な点となる。

この章では、工業用水分析モデルを用いることで、一つの製品が完成するまでに、どのような原材料や部品を通して、どれだけの水が、どの水源から、どのような用途に使われ、どれだけの水質汚濁物質を発生しているのか、について明らかにすることを試みる。また、可能なものについて比較・検証を行う。なお、WLCA を行うにあたり、以下の用語を定義する。

Virtual Impacts on Water (VIW)

製造プロセスの各段階で投入された水資源量、取水源、用途、排水水質など、WLCA を行うことで得られる「水に関する情報」を総称して、「Virtual Impacts on Water（水環境に及ぼす仮想影響）」という。これは、製品の製造が水環境に与える影響を、原材料や素材の生産、また、製品の組み立てや塗装など、製品のライフサイクル全体を含めた「実質的な影響」(Virtual Impacts)で評価することから名付けた。

6.2 計算方法

j 産業から製造される工業製品について、以下の計算式を用いて WLCA を行った。

1) 取水源、用途、水質

製品 1 単位（物量単位）あたりに使用される工業用水の取水源、用途、水質に関しては、それぞれの原単位を設定し、以下の式によって求める。

$$W_j^{LCA-ws} = W^{ws} [I - (I - \hat{M})A]^{-1} [(I - \hat{M})D_j + E_j] / n_j$$

$$W_j^{LCA-use} = W^{use} [I - (I - \hat{M})A]^{-1} [(I - \hat{M})D_j + E_j] / n_j$$

$$W_j^{LCA-wq} = W^{wq} [I - (I - \hat{M})A]^{-1} [(I - \hat{M})D_j + E_j] / n_j$$

ただし、

W^{ws} : 取水源に関する原単位行列

W^{use} : 用途に関する原単位行列

W^{wq} : 水質に関する原単位行列

D_j : 製品jの輸出以外の合計最終需要額列ベクトル

E_j : 製品jの輸出額列ベクトル

n_j : 製品jの生産数量

2) 消失量

消失量とは、ボイラー用水と原料用水の合計であり、再利用が不可能となる(消費される)水資源の量である。消失水量は、以下の式により求める。

$$w_j^{total-loss} = \frac{1}{n_j} [(1 - \hat{m}_j)d_j + e_j] \sum_{k=1} (w_k^{boiler} b_{kj} + w_k^{rm} b_{kj})$$

ただし、

d_j : 製品jの輸出以外の合計最終需要額

e_j : 製品jの輸出額

w^{boiler} : ボイラー用水に関する原単位

w^{rm} : 原料用水に関する原単位

3) 排水量

排水量とは、取水量から消失水量(ボイラー用水と原料用水)を差し引いた残りをいう。排水量は以下の式によって求める。

$$w_j^{total-dr} = w_j^{total-wd} - (w_j^{total-boiler} + w_j^{total-rm})$$

4) 価格比による製品単位への分解

製造部門においては、一つの製造部門から複数の製品が生産されている場合がある。例えば、基本部門における「織物製衣服」部門では、外衣、下着、補正着などが同一部門からそれぞれ製造されていることがわかる。こうした製品については単価と生産数量から以下のように製品単位を分解した。

ある部門から複数の製品が生産されていたとする。複数の製品のうちの一つを製品 j とし、製品 j の単価を p_j とする。このとき、製品 j の取水源に関する WLCA は以下の式より求める。また、用途、水質についても原単位行列をそれぞれ変えることで、同様に以下の式より求める。

$$W_j^{LCA-ws} = \frac{p_j}{\sum_k p_k n_k} W^{ws} [I - (I - \hat{M})A]^{-1} [(I - \hat{M})D_j + E_j]$$

ただし、

p_k : 製品 k の単価

n_k : 製品 k の生産数量

6.3 食料品

6.3.1 パン

基本分類との対応

パンは、基本分類「パン類」と対応させた。

使用したデータ

生産量は「農林水産省 H12 年米麦加工食品企業実態統計調査年報」より 151,9754 トンとした。

評価単位

WLCA の評価単位は「パン 1 斤 (340g)」とした。

結果一覧

表 6-1 パン 1 斤の VIW

単位:L						
利用状況	取水量	使用量	(回収率)	消失量	排水量	海水
最終投入水	5.6	9.8	0.43	1.21	4.38	0.0
中間投入水	9.5	24.2	0.61	0.87	8.66	9.5
合計	15.1	34.0	0.56	2.08	13.04	9.5

単位:L						
水源別	工業用水道	上水道	地表水 伏流水	井戸水	その他	回収水
最終投入水	0.4	1.9	0.0	3.3	0.1	4.2
中間投入水	2.5	0.6	3.6	2.7	0.1	14.7
合計	2.9	2.5	3.6	5.9	0.1	18.9

単位:L						
用途別	ボイラー用水	原料用水	製品処理 洗浄用水	冷却用水	温調用水	その他
最終投入水	0.5	0.7	2.2	4.2	1.2	1.0
中間投入水	0.6	0.3	6.4	15.5	0.5	0.9
合計	1.0	1.0	8.6	19.7	1.7	1.8

単位:g			
汚濁負荷量	BOD	COD	SS
最終投入水	0.10	0.35	0.15
中間投入水	0.42	1.00	0.40
合計	0.52	1.36	0.54

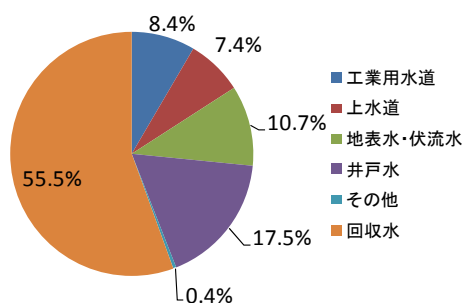


図 6-1 水源別使用率

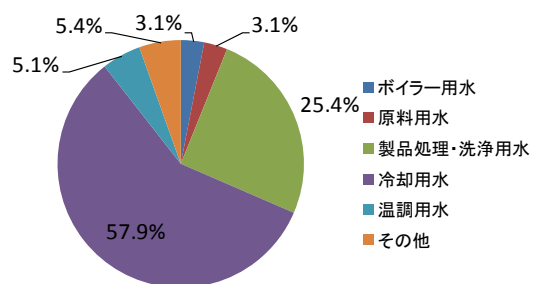


図 6-2 用途別使用率

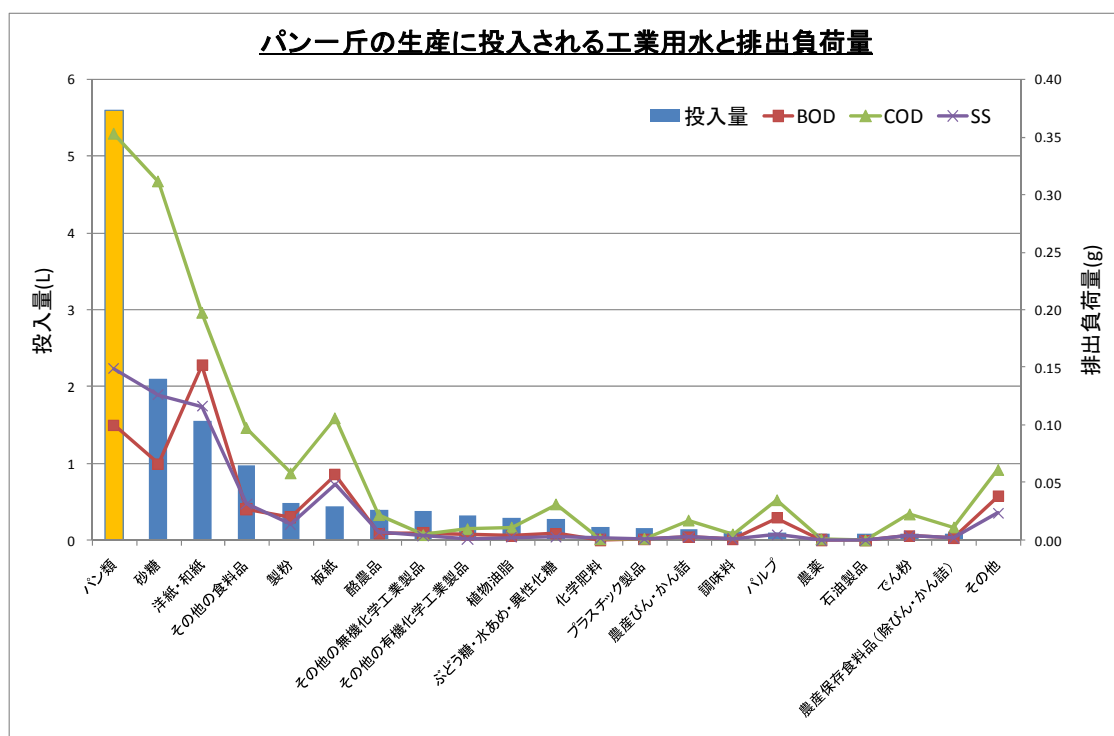


図 6-3 パン一斤の生産

6.3.2 レトルト食品

基本分類との対応

レトルト食品は、基本分類「レトルト食品」と対応させた。

使用したデータ

生産量は「日本缶詰協会 缶詰時報」より 26,5000 トンとした。

評価単位

WLCA の評価単位は、「レトルト食品 210g」（レトルトカレー一袋）とした。

結果一覧

表 6-2 レトルト食品 210g の VIW

単位:L						
利用状況	取水量	使用量	(回収率)	消失量	排水量	海水
最終投入水	5.9	6.8	0.1	1.1	4.8	0.0
中間投入水	6.1	15.4	0.6	0.4	5.7	4.2
合計	12.0	22.3	0.5	1.5	10.5	4.2

単位:L						
水源別	工業用水道	上水道	地表水 伏流水	井戸水	その他	回収水
最終投入水	0.8	1.5	0.6	2.9	0.0	1.0
中間投入水	1.7	0.4	2.4	1.6	0.0	9.3
合計	2.6	1.9	3.0	4.5	0.1	10.2

単位:L						
用途別	ボイラー用水	原料用水	製品処理 洗浄用水	冷却用水	温調用水	その他
最終投入水	0.4	0.7	2.3	2.4	0.1	1.0
中間投入水	0.3	0.1	5.4	8.6	0.3	0.7
合計	0.7	0.8	7.7	11.0	0.5	1.7

単位:mg			
汚濁負荷量	BOD	COD	SS
最終投入水	28	118	41
中間投入水	126	233	106
合計	154	351	147

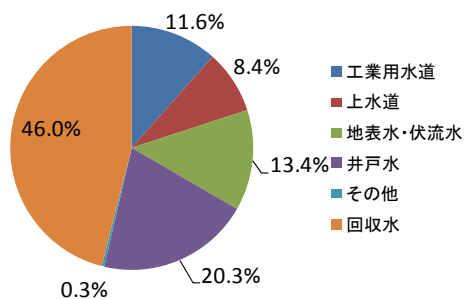


図 6-4 水源別使用率

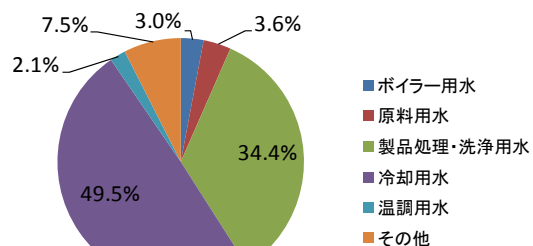


図 6-5 用途別使用率

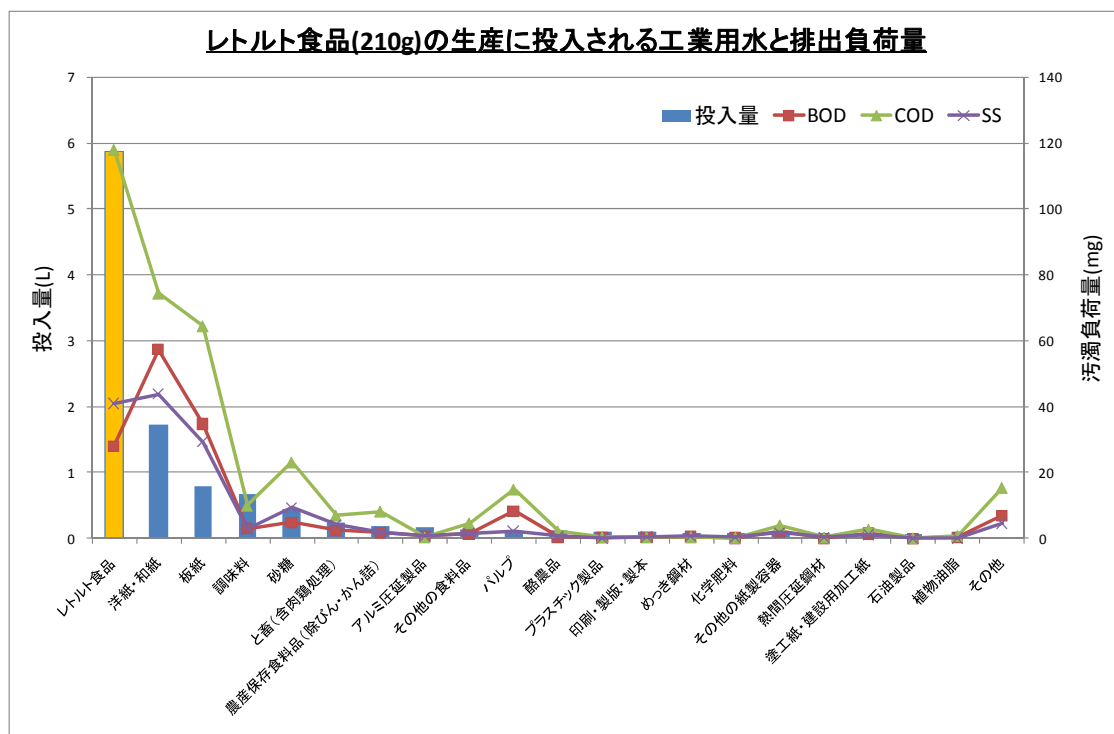


図 6-6 レトルト食品 210g の生産

6.4 飲料

6.4.1 清酒

基本分類との対応

清酒は、基本分類「清酒」と対応させた。

使用したデータ

生産量は、国税庁「日本における税務行政」より 999,000 キロリットルとした。

評価単位

WLCA の評価単位は、「清酒 1 リットル」とした。

結果一覧

表 6-3 清酒 1L の VIW

単位:L						
利用状況	取水量	使用量	(回収率)	消失量	排水量	海水
最終投入水	18.5	20.9	0.1	3.8	14.6	0.2
中間投入水	11.0	31.0	0.6	0.6	10.4	7.0
合計	29.5	51.9	0.4	4.5	25.0	7.1
単位:L						
水源別	工業用水道	上水道	地表水 伏流水	井戸水	その他	回収水
最終投入水	3.1	4.1	0.7	10.6	0.0	2.4
中間投入水	3.8	0.5	4.1	2.5	0.1	20.0
合計	6.9	4.6	4.8	13.0	0.2	22.5
単位:L						
用途別	ボイラー用水	原料用水	製品処理 洗浄用水	冷却用水	温調用水	その他
最終投入水	1.3	2.5	10.1	4.7	0.7	1.6
中間投入水	0.5	0.1	10.6	18.0	0.9	1.0
合計	1.8	2.6	20.6	22.7	1.6	2.6
単位:g						
汚濁負荷量	BOD	COD	SS			
最終投入水	0.13	0.17	1.73			
中間投入水	0.26	0.42	0.20			
合計	0.39	0.60	1.93			

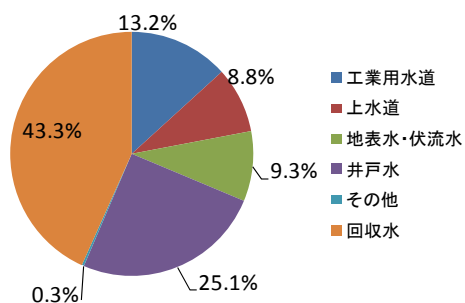


図 6-7 水源別使用率

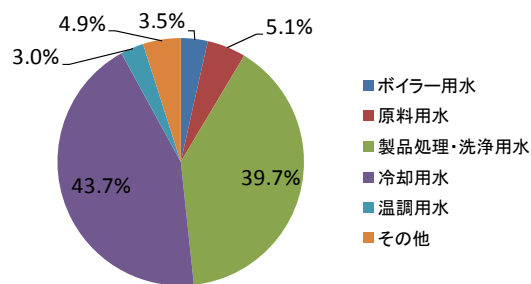


図 6-8 用途別使用率

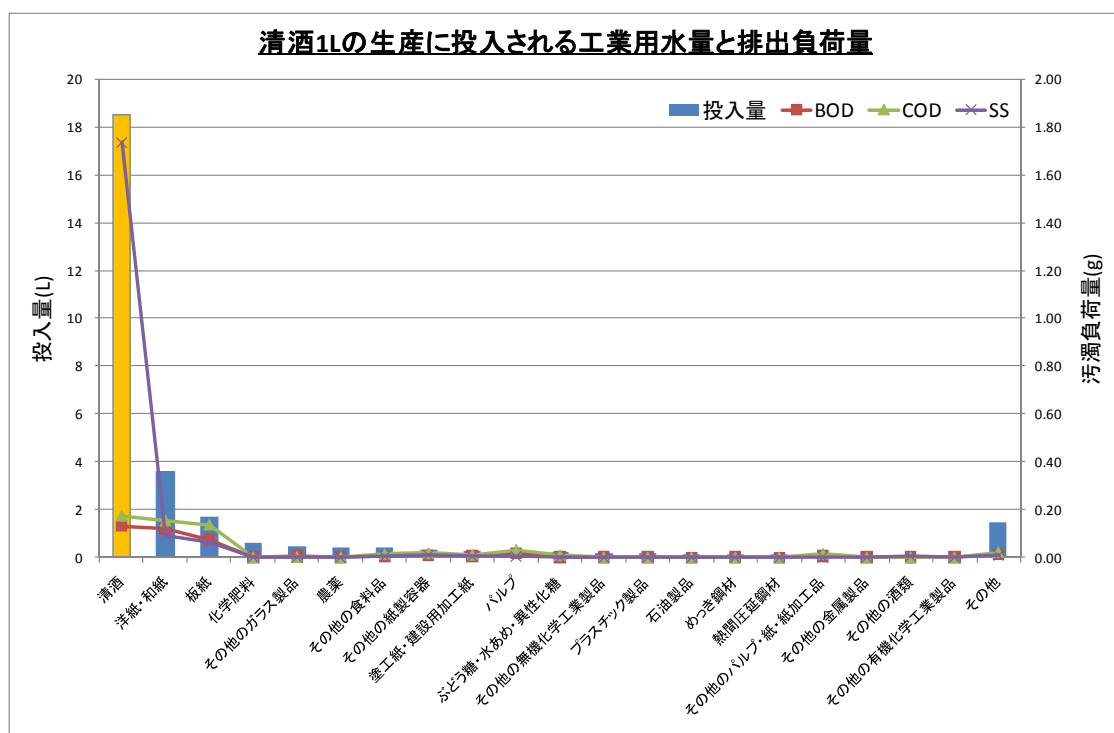


図 6-9 清酒 1L の生産

6.4.2 ビール

基本分類との対応

ビールは、基本分類「ビール」と対応させた。

使用したデータ

生産量は、国税庁「日本における税務行政」より 5,416,000 キロリットルとした。

評価単位

WLCA の評価単位は、「ビール 1 リットル」とした。

結果一覧

表 6-4 ビール 1L の VIW

単位:L						
利用状況	取水量	使用量	(回収率)	消失量	排出量	海水
最終投入水	10.7	14.8	0.3	2.3	8.4	0.1
中間投入水	5.6	19.6	0.7	0.4	5.2	5.1
合計	16.3	34.4	0.5	2.7	13.6	5.1

単位:L						
水源別	工業用水道	上水道	地表水 伏流水	井戸水	その他	回収水
最終投入水	4.5	3.1	1.0	2.1	0.0	4.1
中間投入水	1.9	0.5	1.3	1.9	0.1	14.0
合計	6.3	3.7	2.3	3.9	0.1	18.1

単位:L						
用途別	ボイラー用水	原料用水	製品処理 洗浄用水	冷却用水	温調用水	その他
最終投入水	0.6	1.7	6.5	4.1	1.2	0.5
中間投入水	0.3	0.1	4.0	14.0	0.6	0.6
合計	0.9	1.8	10.5	18.1	1.9	1.2

単位:g			
汚濁負荷量	BOD	COD	SS
最終投入水	0.10	0.15	0.99
中間投入水	0.09	0.16	0.07
合計	0.19	0.31	1.06

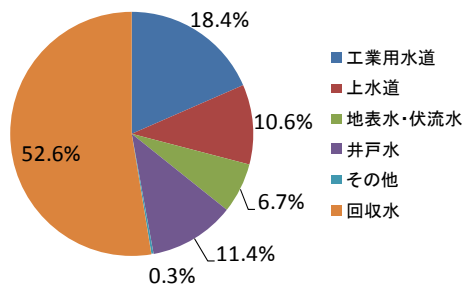


図 6-10 水源別使用率

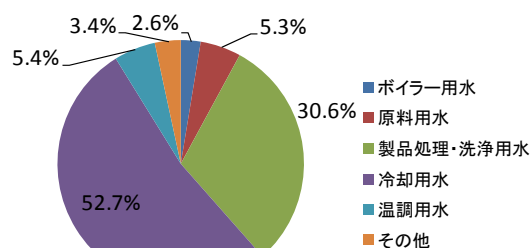


図 6-11 用途別使用率

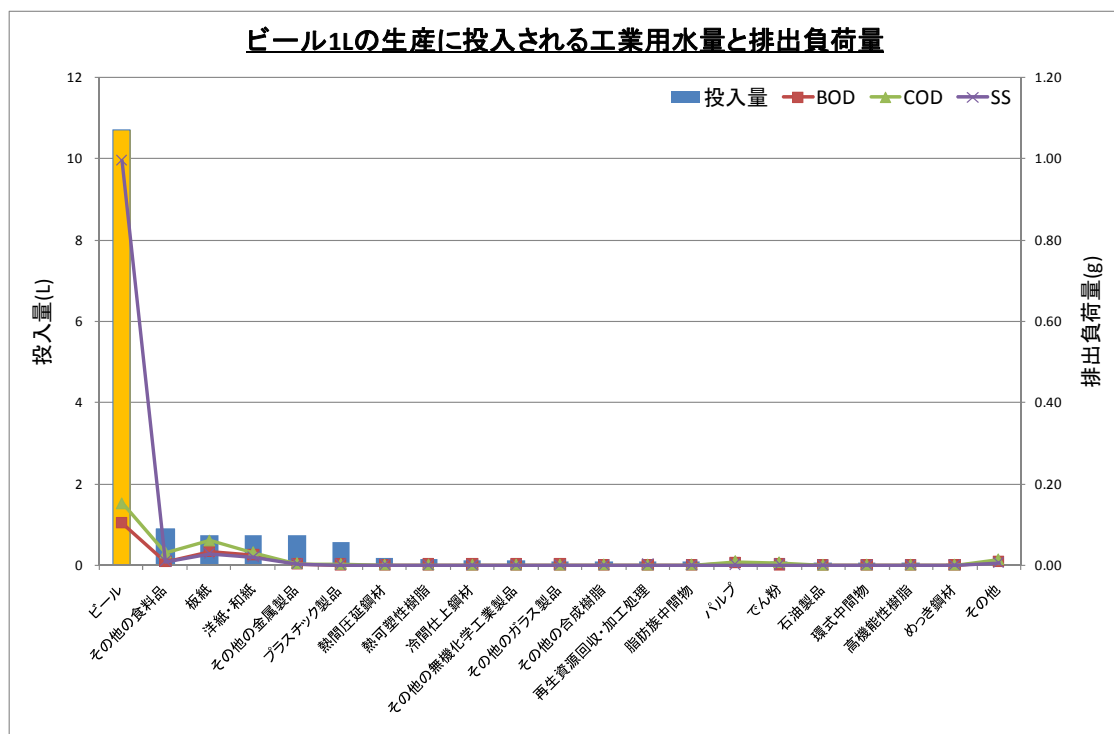


図 6-12 ビール 1L の生産

6.4.3 ウィスキー

基本分類との対応

ウィスキーは、基本分類「ウィスキー類」と対応させた。ウィスキーは大麦を発芽・乾燥させたものを発酵・蒸留・熟成させるのに対し、ブランデーは果実を破碎したものを発酵・蒸留・熟成させている。両者の製造方法は異なるため、水使用量も当然異なると考えられる。ウィスキーの製造では大麦の発芽の段階において水が必要であるため、ウィスキーとブランデーの単位当たりの生産に必要な水はウィスキーのほうが多いと予想される。よって、ここではウィスキーとブランデーを区別せず、「ウィスキー」として WLCA を行うことで、ウィスキーの製造に必要な水を過小評価することにした。

使用したデータ

生産量は、国税庁「日本における税務行政」より 146,6000 キロリットルとした。

評価単位

WLCA の評価単位は、「ウィスキー1 リットル」とした。

結果一覧

表 6-5 ウィスキー1L の VIW

単位:L						
利用状況	取水量	使用量	(回収率)	消失量	排出量	海水
最終投入水	48.1	75.6	0.4	7.0	41.1	3.0
中間投入水	23.1	71.8	0.7	1.6	21.5	17.0
合計	71.2	147.4	0.5	8.6	62.6	20.0

単位:L						
水源別	工業用水道	上水道	地表水 伏流水	井戸水	その他	回収水
最終投入水	10.7	4.1	4.1	29.3	0.0	27.5
中間投入水	7.5	1.3	7.9	6.2	0.2	48.7
合計	18.1	5.3	12.0	35.5	0.2	76.2

単位:L						
用途別	ボイラー用水	原料用水	製品処理 洗浄用水	冷却用水	温調用水	その他
最終投入水	2.6	4.4	13.3	51.2	0.8	3.3
中間投入水	1.2	0.4	21.1	45.3	1.8	2.1
合計	3.8	4.8	34.4	96.5	2.6	5.4

単位:g			
汚濁負荷量	BOD	COD	SS
最終投入水	0.20	0.37	2.06
中間投入水	0.54	0.90	0.41
合計	0.74	1.27	2.47

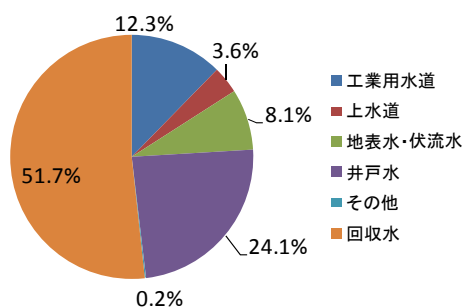


図 6-13 水源別使用率

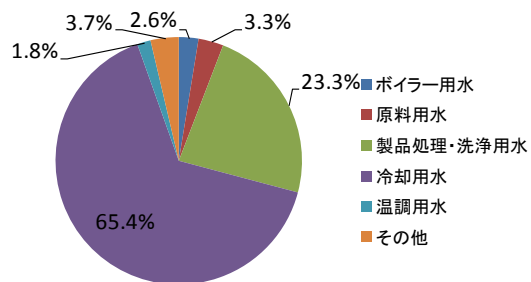


図 6-14 用途別使用率

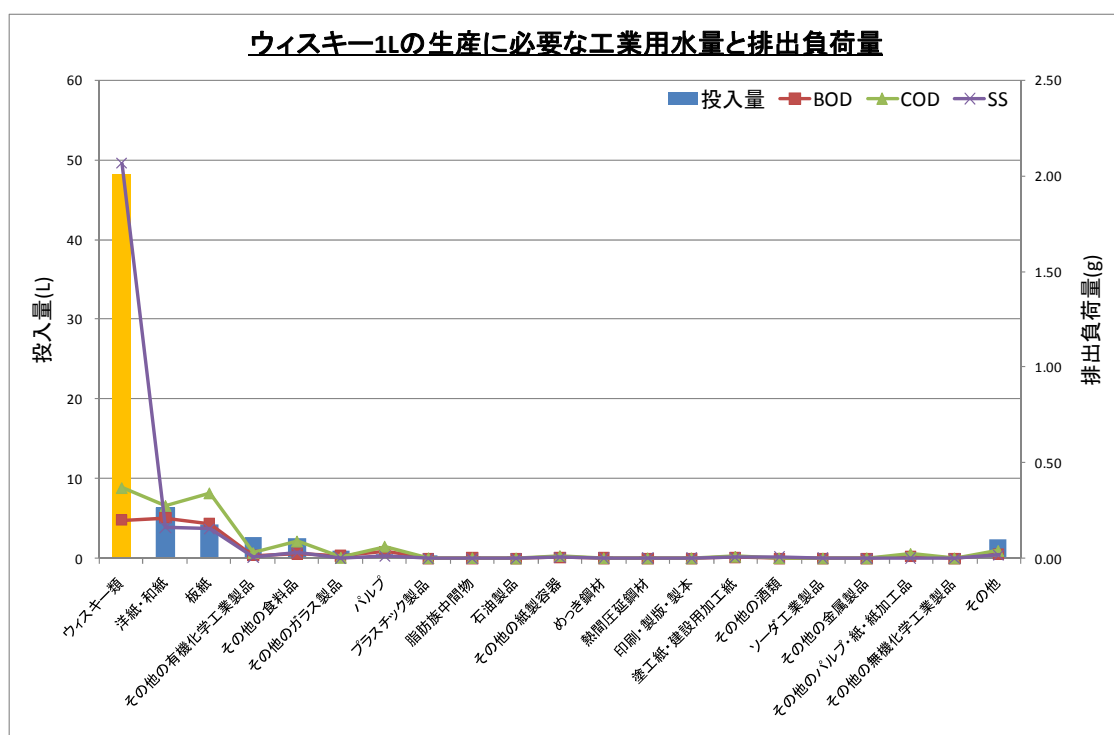


図 6-15 ウイスキー1Lの生産

6.4.4 清涼飲料

基本分類との対応

清涼飲料は、基本分類「清涼飲料」と対応させた。

使用したデータ

生産量は、社団法人全国清涼飲料工業会「清涼飲料関係統計資料」より 15,493,300 トンとした。

評価単位

WLCA の評価単位は、「清涼飲料 1 リットル」とした。

結果一覧

表 6-6 清涼飲料 1L の VIW

単位:L						
利用状況	取水量	使用量	(回収率)	消失量	排出量	海水
最終投入水	8.3	10.7	0.2	2.2	6.1	0.3
中間投入水	9.0	31.4	0.7	0.6	8.3	11.6
合計	17.3	42.1	0.6	2.9	14.5	11.9

単位:L						
水源別	工業用水道	上水道	地表水 伏流水	井戸水	その他	回収水
最終投入水	1.4	0.9	0.2	5.8	0.1	2.4
中間投入水	3.1	0.4	3.3	2.1	0.1	22.4
合計	4.4	1.4	3.5	7.9	0.1	24.8

単位:L						
用途別	ボイラー用水	原料用水	製品処理 洗浄用水	冷却用水	温調用水	その他
最終投入水	0.5	1.7	3.1	4.6	0.2	0.5
中間投入水	0.5	0.1	6.2	22.8	0.7	1.0
合計	1.0	1.8	9.3	27.4	0.9	1.5

単位:g			
汚濁負荷量	BOD	COD	SS
最終投入水	0.02	0.04	0.16
中間投入水	0.13	0.30	0.12
合計	0.15	0.34	0.28

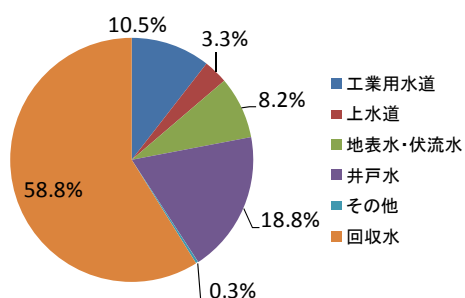


図 6-16 水源別使用率

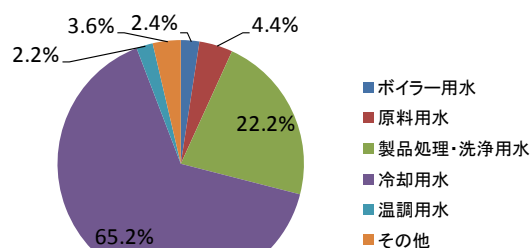


図 6-17 用途別使用率

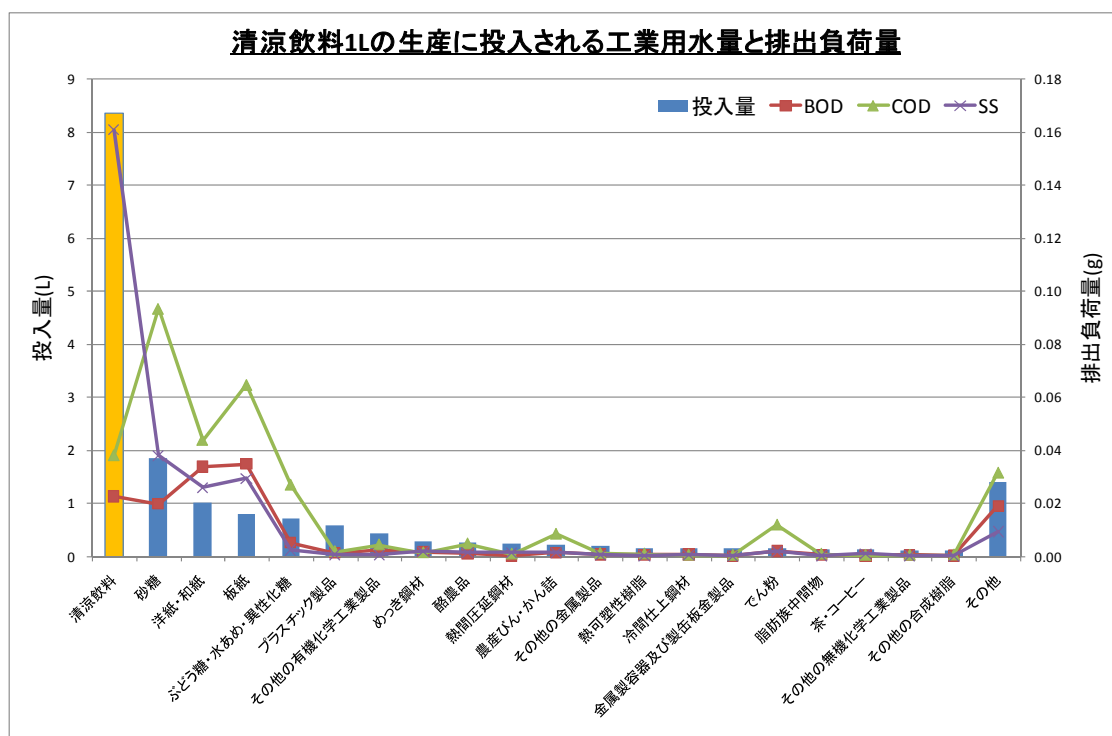


図 6-18 清涼飲料 1L の生産

6.5 衣服

6.5.1 織物製衣服

基本分類との対応

織物製衣服は基本分類「織物製衣服」と対応させた。

使用したデータ

織物製衣服については、外衣、下着、補正着、寝着類、乳幼児用についての生産数と単価を経済産業省「繊維・生活用品統計年報」より求めた(表 6-7)。

表 6-7 織物製衣服

製品名	生産数量 (千点)	単価 (円/着)
外衣	167,217	2498
下着	19,171	371
補正着	17,230	1058
寝着類	4,777	644
乳幼児用	1,487	901

評価単位

WLCA の評価単位は、「織物外衣一着」とした。

結果一覧

表 6-8 織物製外衣 1 着の VIW

単位:L						
利用状況	取水量	使用量	(回収率)	消失量	排出量	海水
最終投入水	47.1	47.3	0.0	12.3	34.9	0.0
中間投入水	1221.5	2315.9	0.5	66.7	1154.8	304.2
合計	1268.6	2363.2	0.5	79.0	1189.6	304.2

単位:L						
水源別	工業用水道	上水道	地表水・伏流水	井戸水	その他	回収水
最終投入水	0.7	25.0	0.8	20.4	0.2	0.1
中間投入水	305.1	30.9	225.1	648.1	12.2	1094.5
合計	305.8	55.9	226.0	668.5	12.4	1094.6

単位:L						
用途別	ボイラー用水	原料用水	製品処理・洗浄用水	冷却用水	温調用水	その他
最終投入水	12.3	0.0	3.8	4.5	7.3	19.4
中間投入水	65.0	1.7	701.2	1107.5	365.6	74.9
合計	77.3	1.7	705.0	1112.0	372.9	94.4

単位:g			
汚濁負荷量	BOD	COD	SS
最終投入水	0.06	0.10	0.06
中間投入水	25.65	33.99	7.05
合計	25.71	34.09	7.11

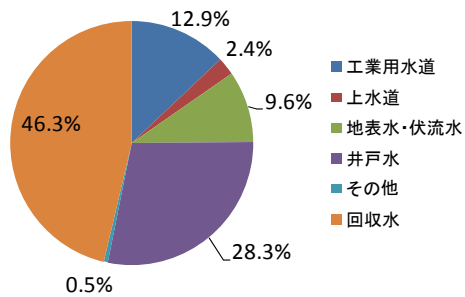


図 6-19 水源別使用率

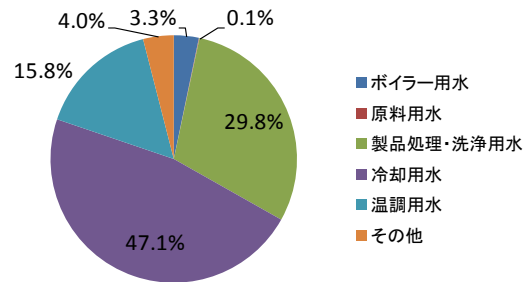


図 6-20 用途別使用率

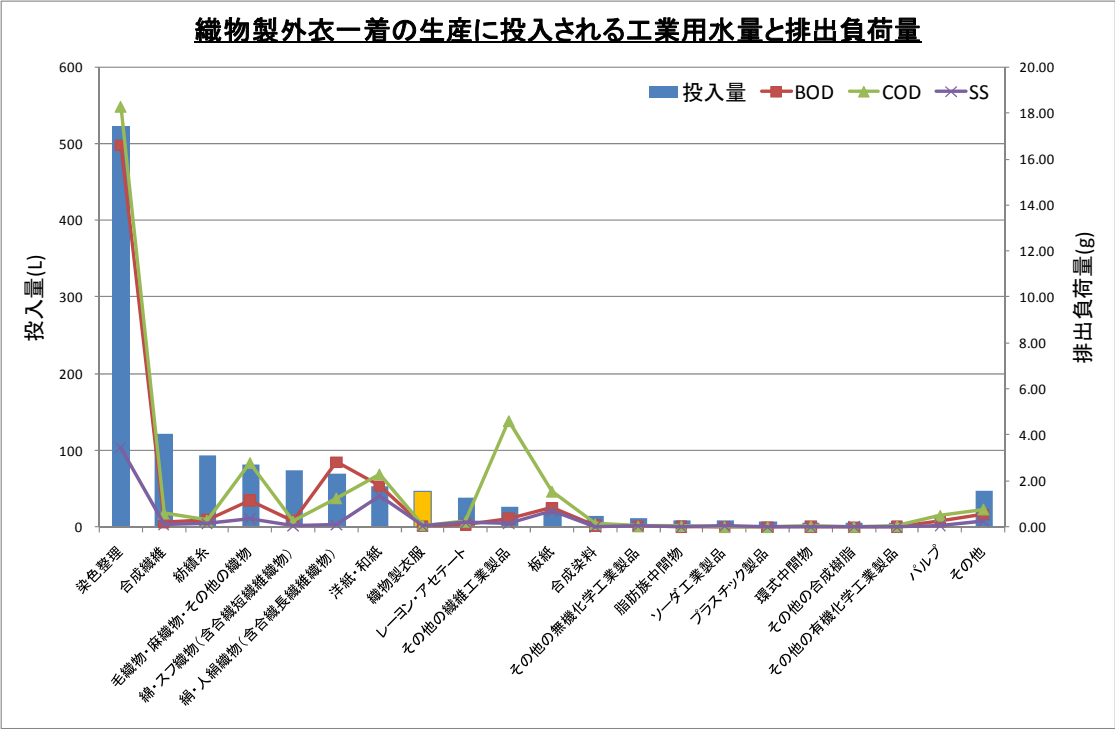


図 6-21 繊維物製外衣 1 着の生産

参考として、外衣以外の製品についての使用量を示す。

表 6-9 繊維物製衣服その他

製品名	取水量 (L/着)	使用量 (L/着)
下着	160.3	320.0
補正着	457.4	913.3
寝着類	278.5	556.1
乳幼児用	389.6	777.9

6.5.2 ニット製衣服

基本分類との対応

ニット製衣服は基本分類「ニット製衣服」と対応させた。

使用したデータ

ニット製衣服については、外衣、下着、補正着、寝着類、乳幼児用についての生産数と単価を経済産業省「繊維・生活用品統計年報」より求めた(表 6-10)。

表 6-10 ニット製衣服

製品名	生産数量 (千点)	単価 (円/着)
外衣	146,463	1641
下着	177,771	399
補正着	10,903	838
寝着類	4,333	1423
乳幼児用	2,243	605

評価単位

WLCA の評価単位は、「織物外衣一着」とした。

結果一覧

表 6-11 ニット製外衣 1 着の VIW

単位:L						
利用状況	取水量	使用量	(回収率)	消失量	排出量	海水
最終投入水	46.9	47.7	0.0	3.8	43.1	0.0
中間投入水	576.1	1411.4	0.6	29.8	546.3	213.3
合計	623.0	1459.0	0.6	33.6	589.4	213.3

単位:L						
水源別	工業用水道	上水道	地表水 伏流水	井戸水	その他	回収水
最終投入水	0.2	11.4	5.4	29.7	0.3	0.8
中間投入水	159.8	10.5	135.1	264.1	6.5	835.3
合計	160.0	21.8	140.5	293.8	6.8	836.1

単位:L						
用途別	ボイラー用水	原料用水	製品処理 洗浄用水	冷却用水	温調用水	その他
最終投入水	3.8	0.0	13.3	6.2	10.3	14.1
中間投入水	28.8	1.0	233.8	885.7	224.4	37.7
合計	32.6	1.0	247.1	891.9	234.7	51.8

単位:g			
汚濁負荷量	BOD	COD	SS
最終投入水	0.19	0.22	0.16
中間投入水	7.24	10.61	2.38
合計	7.43	10.84	2.54

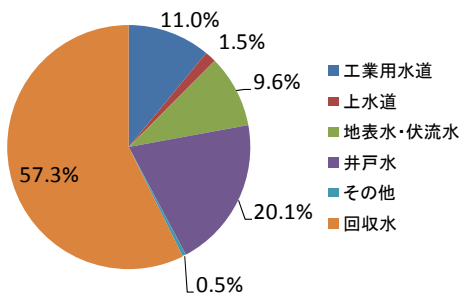


図 6-22 水源別使用率

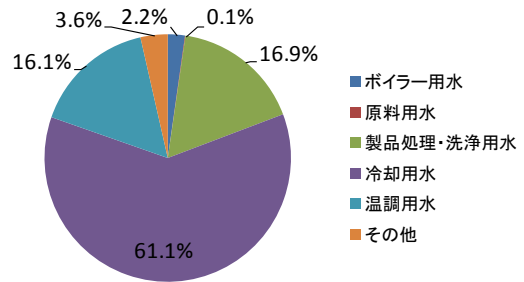


図 6-23 用途別使用率

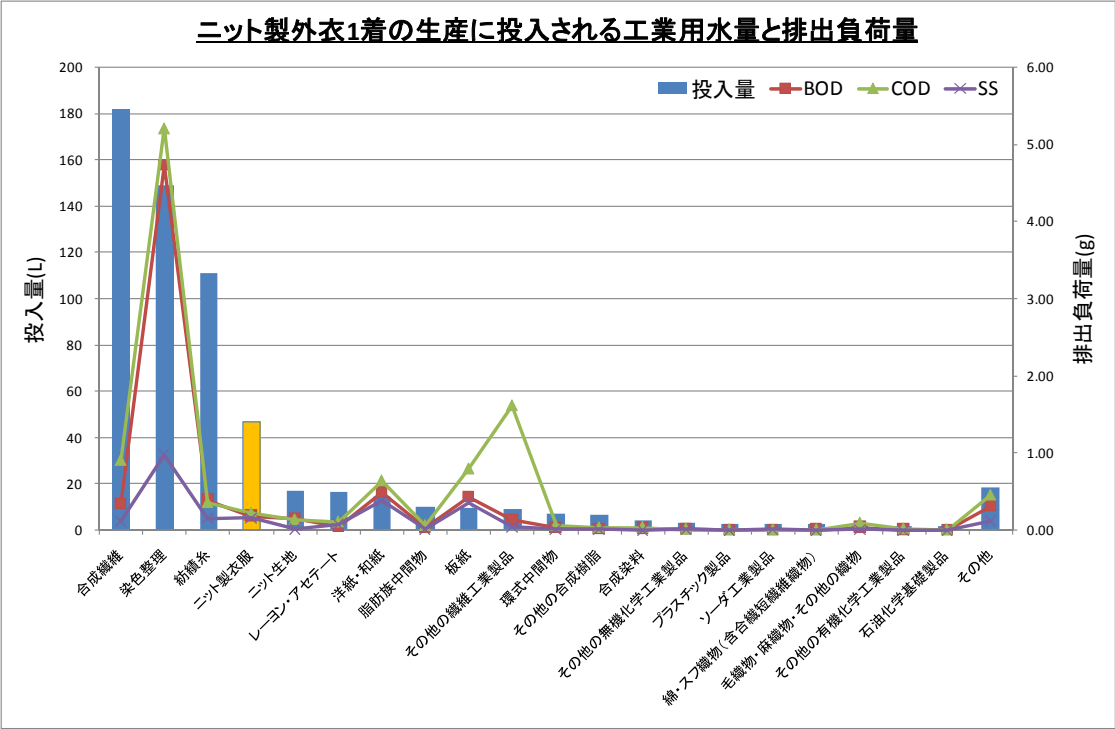


図 6-24 ニット製外衣一着の生産

参考として、外衣以外の製品についての水使用量を示す。

表 6-12 ニット製製品その他

製品名	取水量 (L/着)	使用量 (L/着)
下着	138.3	339.0
補正着	290.5	712.1
寝着類	493.6	1210.1
乳幼児用	209.8	514.3

6.6 家電製品

6.6.1 エアコンディショナ

基本分類との対応

エアコンディショナは、基本分類「民生用エアコンディショナ」と対応させた。

使用したデータ

生産数は、社団法人日本冷凍空調工業会より 7,083,933 台とした。

評価単位

WLCA の評価単位は、「エアコン 1 台」とした。

結果一覧

表 6-13 エアコン 1 台の VIW

単位:m ³						
利用状況	取水量	使用量	(回収率)	消失量	排出量	海水
最終投入水	0.60	1.92	0.69	0.02	0.59	0.00
中間投入水	4.41	22.23	0.80	0.23	4.18	6.50
合計	5.01	24.15	0.79	0.24	4.77	6.50

単位:m ³						
水源別	工業用水道	上水道	地表水 伏流水	井戸水	その他	回収水
最終投入水	0.11	0.13	0.03	0.33	0.00	1.32
中間投入水	1.88	0.28	1.15	1.03	0.08	17.81
合計	1.99	0.41	1.18	1.36	0.08	19.14

単位:m ³						
用途別	ボイラー用水	原料用水	製品処理 洗浄用水	冷却用水	温調用水	その他
最終投入水	0.02	0.00	0.16	1.00	0.58	0.18
中間投入水	0.21	0.02	2.96	17.38	0.95	0.70
合計	0.23	0.02	3.12	18.38	1.53	0.87

単位:g			
汚濁負荷量	BOD	COD	SS
最終投入水	1.18	1.81	0.98
中間投入水	57.54	88.44	41.70
合計	58.72	90.24	42.68

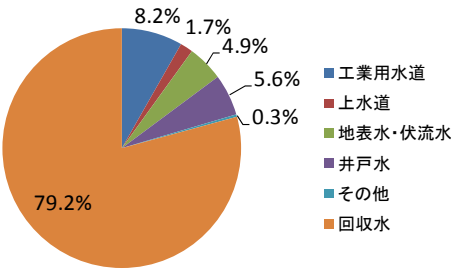


図 6-25 水源別使用率

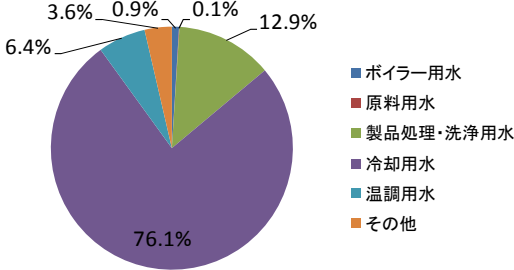


図 6-26 用途別使用率

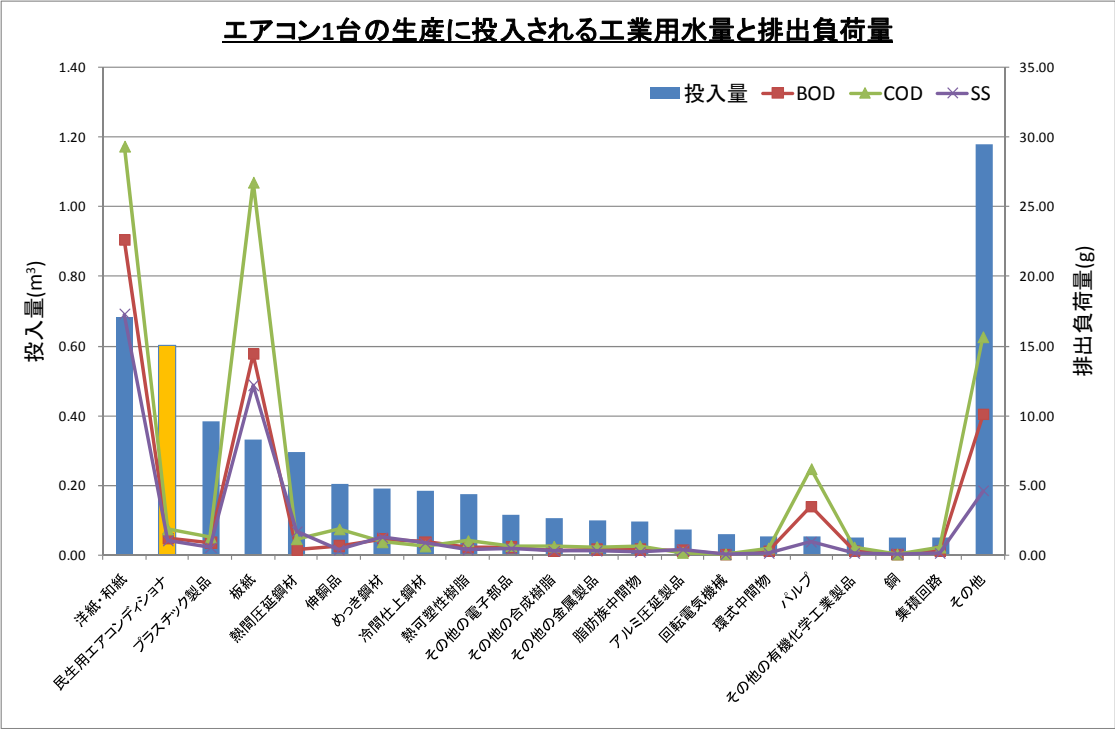


図 6-27 エアコン 1 台の生産

6.6.2 パーソナルコンピュータ

基本分類との対応

パーソナルコンピュータは基本分類の「パーソナルコンピュータ」と対応させた。

使用したデータ

生産数は、「平成 12 年機械統計年報」より 15,389,456 台とした。

評価単位

WLCA の評価単位は、「パソコン 1 台」とした。

結果一覧

表 6-14 パソコン 1 台の VIW

単位:m ³						
利用状況	取水量	使用量	(回収率)	消失量	排水量	海水
最終投入水	0.57	3.79	0.85	0.02	0.55	0.00
中間投入水	3.46	13.67	0.75	0.16	3.30	2.49
合計	4.03	17.46	0.77	0.19	3.85	2.49

単位:m ³						
水源別	工業用水道	上水道	地表水 伏流水	井戸水	その他	回収水
最終投入水	0.09	0.26	0.00	0.21	0.01	3.22
中間投入水	1.24	0.35	0.78	1.06	0.04	10.21
合計	1.33	0.61	0.78	1.27	0.05	13.43

単位:m ³						
用途別	ボイラー用水	原料用水	製品処理 洗浄用水	冷却用水	温調用水	その他
最終投入水	0.02	0.00	0.23	0.57	2.77	0.20
中間投入水	0.15	0.01	2.55	8.69	1.80	0.46
合計	0.18	0.01	2.78	9.26	4.58	0.65

単位:g			
排出負荷量	BOD	COD	SS
最終投入水	4.43	2.80	1.61
中間投入水	50.05	70.55	34.17
合計	54.48	73.35	35.79

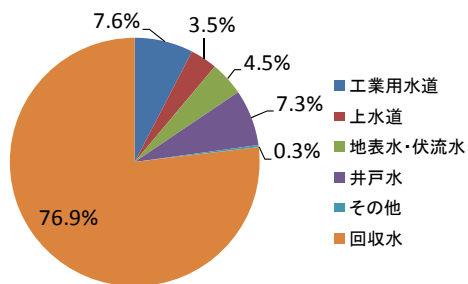


図 6-28 水源別使用率

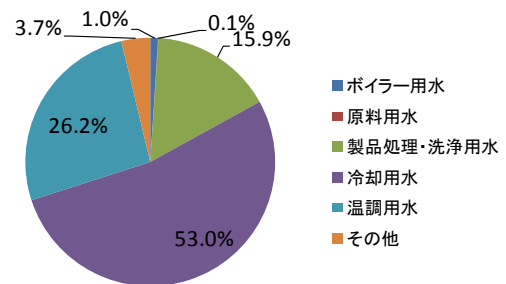


図 6-29 用途別使用率

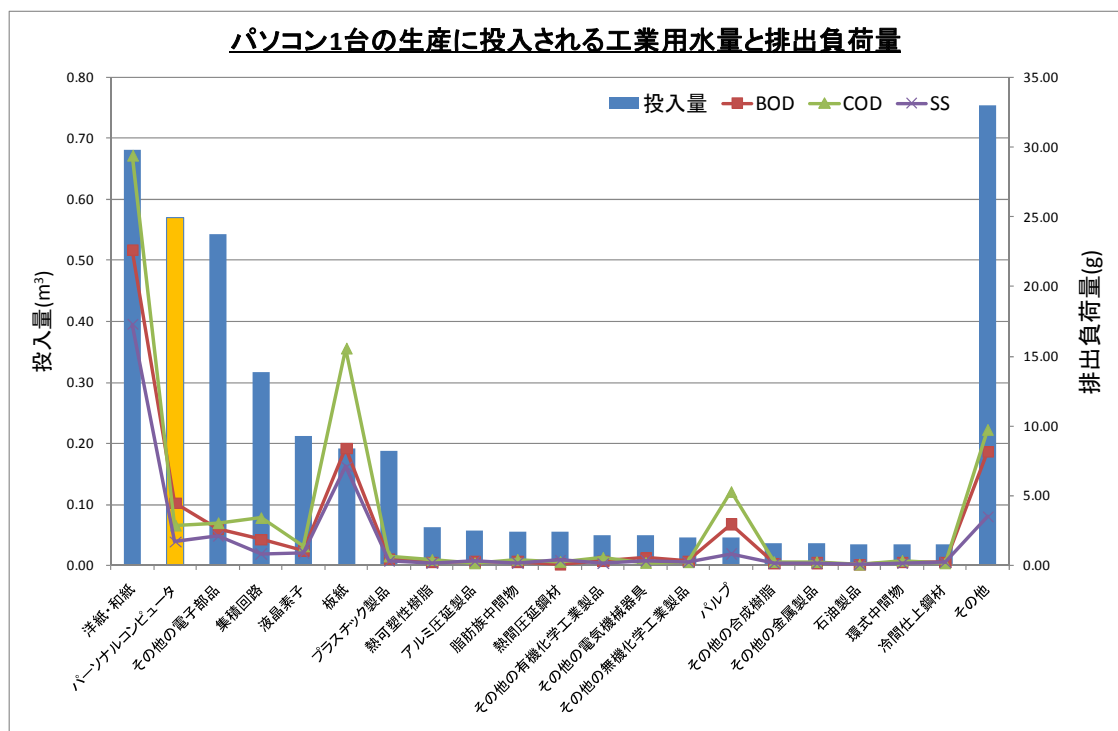


図 6-30 パソコン 1 台の生産

6.6.3 携帯電話

基本分類との対応

携帯電話は基本分類の「携帯電話」と対応させた。

使用したデータ

生産数は、「平成 12 年機械統計年報」より 55,303,353 台とした。

評価単位

WLCA の評価単位は、「携帯電話 1 台」とした。

結果一覧

表 6-15 携帯電話 1 台の VIW

単位:L						
利用状況	取水量	使用量	(回収率)	消失量	排出量	海水
最終投入水	42.9	351.3	0.9	1.1	41.8	0.0
中間投入水	869.0	3770.0	0.8	47.6	821.4	835.9
合計	911.9	4121.3	0.8	48.8	863.1	835.9

単位:L						
水源別	工業用水道	上水道	地表水 伏流水	井戸水	その他	回収水
最終投入水	11.6	21.9	0.8	8.2	0.5	308.3
中間投入水	318.4	73.5	199.3	265.0	12.9	2901.0
合計	330.0	95.3	200.1	273.2	13.3	3209.4

単位:L						
用途別	ボイラー用水	原料用水	製品処理 洗浄用水	冷却用水	温調用水	その他
最終投入水	1.1	0.0	5.0	55.1	263.7	26.3
中間投入水	44.0	3.7	535.3	2720.3	355.7	111.1
合計	45.1	3.7	540.4	2775.4	619.4	137.4

単位:g			
汚濁負荷量	BOD	COD	SS
最終投入水	0.06	0.06	0.02
中間投入水	10.97	15.53	7.37
合計	11.03	15.59	7.39

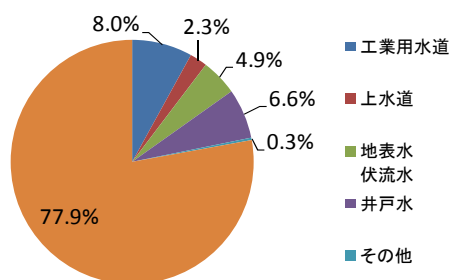


図 6-31 水源別使用率

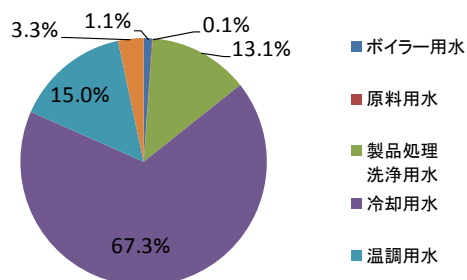


図 6-32 用途別使用率

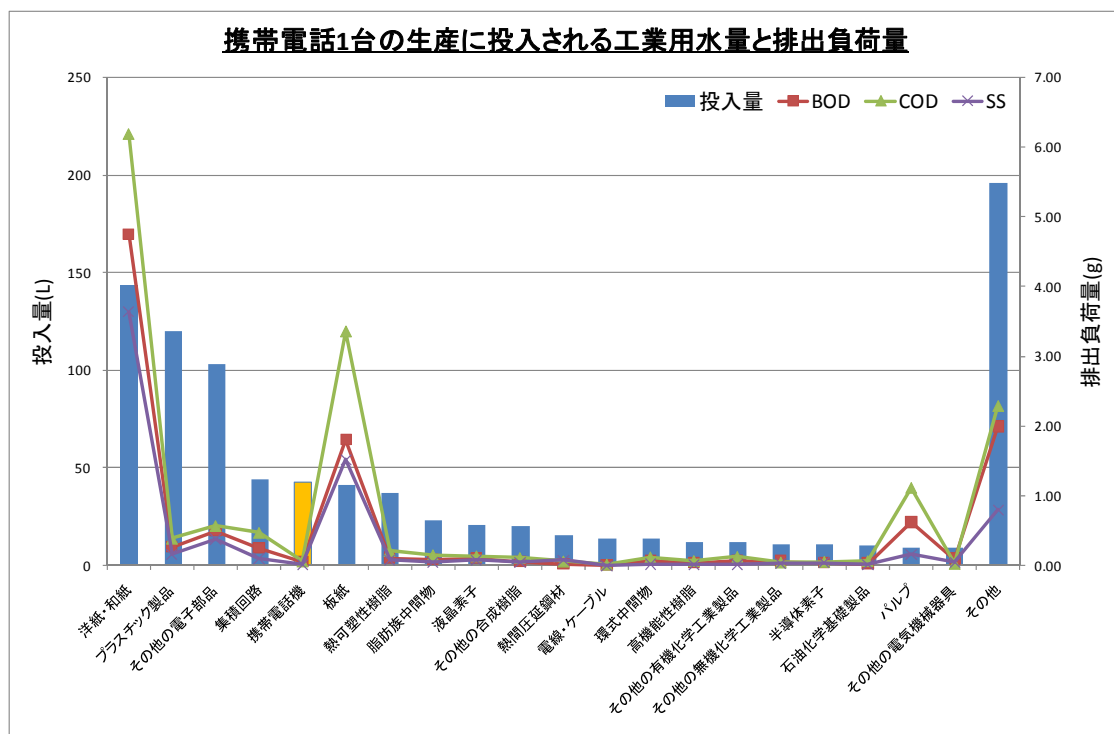


図 6-33 携帯電話 1 台の生産

6.7 自動車

6.7.1 乗用車

基本分類との対応

乗用車は基本分類の「乗用車」と対応させた。

使用したデータ

生産数は、「平成 12 年機械統計年報」より、8,359,434 台とした。

評価単位

WLCA の評価単位は、「乗用車 1 台」とした。

結果一覧

表 6-16 乗用車一台の VIW

単位:m ³						
利用状況	取水量	使用量	(回収率)	消失量	排水量	海水
最終投入水	6.38	174.03	0.96	0.49	5.89	0.00
中間投入水	58.29	374.81	0.84	3.07	55.21	81.74
合計	64.67	548.84	0.88	3.56	61.10	81.74

単位:m ³						
水源別	工業用水道	上水道	地表水 伏流水	井戸水	その他	回収水
最終投入水	3.57	0.70	0.27	1.84	0.00	167.65
中間投入水	25.61	5.28	10.03	16.27	1.10	316.53
合計	29.18	5.98	10.29	18.11	1.10	484.17

単位:m ³						
用途別	ボイラー用水	原料用水	製品処理 洗浄用水	冷却用水	温調用水	その他
最終投入水	0.49	0.00	72.85	54.74	38.63	7.31
中間投入水	2.87	0.20	56.03	277.79	23.45	14.48
合計	3.36	0.20	128.88	332.53	62.08	21.79

単位:kg			
排出負荷量	BOD	COD	SS
最終投入水	0.41	0.69	0.25
中間投入水	0.64	0.99	0.56
合計	1.05	1.68	0.81

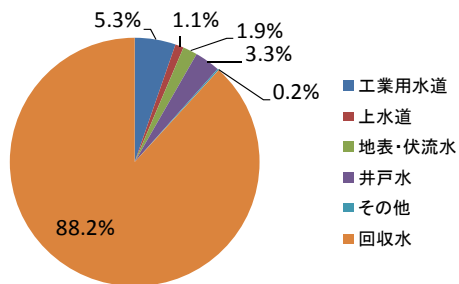


図 6-34 水源別使用率

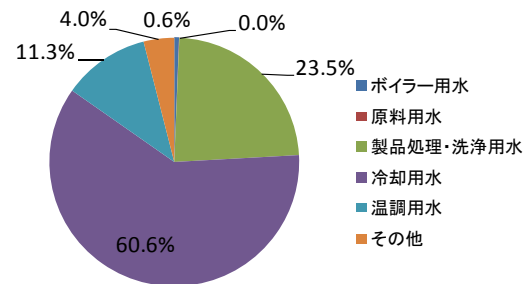


図 6-35 用途別使用率

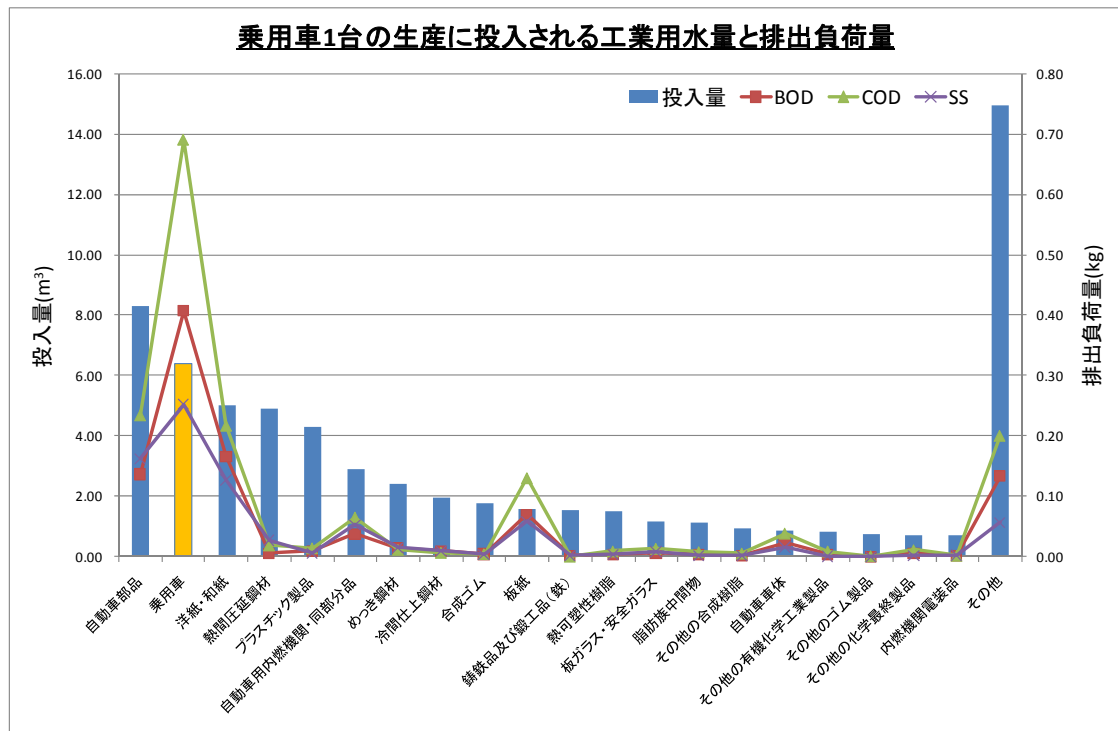


図 6-36 乗用車 1 台の生産

6.7.2 二輪自動車

基本分類との対応

二輪自動車は基本分類の「二輪自動車」と対応させた。

使用したデータ

生産数は、「平成 12 年機械統計年報」より 2,415,391 台とした。

評価単位

WLCA の評価単位は、「二輪自動車 1 台」とした。

結果一覧

表 6-17 二輪自動車 1 台の VIW

単位:m ³						
利用状況	取水量	使用量	(回収率)	消失量	排水量	海水
最終投入水	1.73	34.54	0.95	0.11	1.62	0.00
中間投入水	9.60	60.27	0.84	0.53	9.07	12.24
合計	11.34	94.80	0.88	0.65	10.69	12.24

単位:m ³						
水源別	工業用水道	上水道	地表水 伏流水	井戸水	その他	回収水
最終投入水	0.81	0.26	0.05	0.60	0.01	32.80
中間投入水	4.08	0.91	1.66	2.77	0.19	50.66
合計	4.89	1.17	1.71	3.37	0.20	83.46

単位:m ³						
用途別	ボイラー用水	原料用水	製品処理 洗浄用水	冷却用水	温調用水	その他
最終投入水	0.11	0.00	13.42	12.35	7.07	1.59
中間投入水	0.50	0.04	8.89	44.69	3.82	2.33
合計	0.61	0.04	22.31	57.04	10.89	3.92

単位:kg			
排出負荷量	BOD	COD	SS
最終投入水	0.08	0.13	0.05
中間投入水	0.10	0.16	0.09
合計	0.18	0.29	0.15

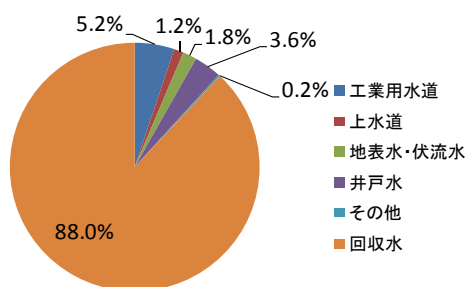


図 6-37 水源別使用率

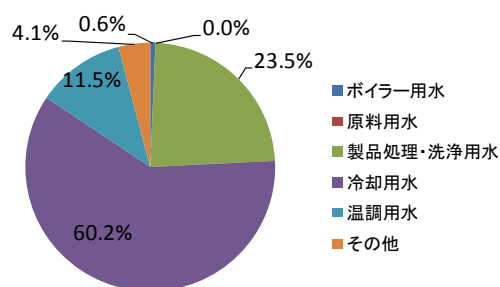


図 6-38 用途別使用率

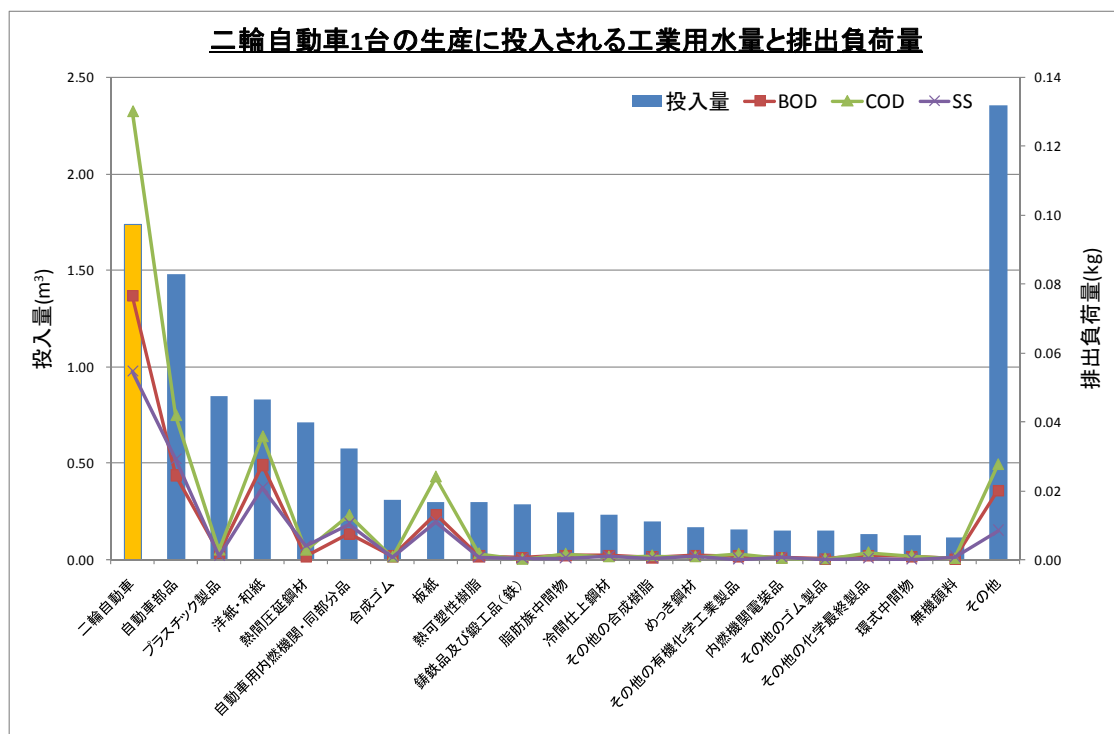


図 6-39 二輪自動車 1 台の生産

6.7.3 自転車

基本分類との対応

自転車は基本分類の「自転車」と対応させた。自転車は「自動車」には含まれないが、同じ「輸送機械」であることから、ここに記載した。

使用したデータ

生産数は、「平成 12 年機械統計年報」より 3,076,457 台とした。

評価単位

WLCA の評価単位は、「自転車 1 台」とした。

結果一覧

表 6-18 自転車一台の VIW

単位:m ³						
利用状況	取水量	使用量	(回収率)	消失量	排水量	海水
最終投入水	0.64	0.72	0.12	0.03	0.61	0.00
中間投入水	0.79	4.02	0.80	0.04	0.75	1.14
合計	1.43	4.74	0.70	0.07	1.36	1.14

単位:m ³						
水源別	工業用水道	上水道	地表水 伏流水	井戸水	その他	回収水
最終投入水	0.30	0.17	0.00	0.16	0.01	0.08
中間投入水	0.35	0.04	0.21	0.17	0.02	3.23
合計	0.65	0.21	0.21	0.34	0.03	3.32

単位:m ³						
用途別	ボイラー用水	原料用水	製品処理 洗浄用水	冷却用水	温調用水	その他
最終投入水	0.03	0.00	0.26	0.29	0.03	0.11
中間投入水	0.04	0.00	0.53	3.23	0.10	0.12
合計	0.07	0.00	0.79	3.52	0.13	0.23

単位:g			
排出負荷量	BOD	COD	SS
最終投入水	0.56	1.03	1.21
中間投入水	10.49	15.05	7.95
合計	11.05	16.08	9.16

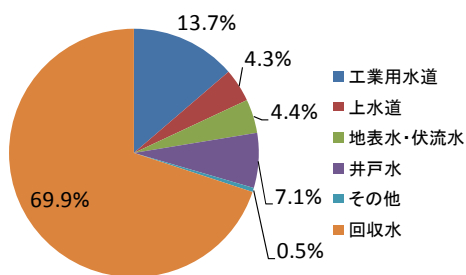
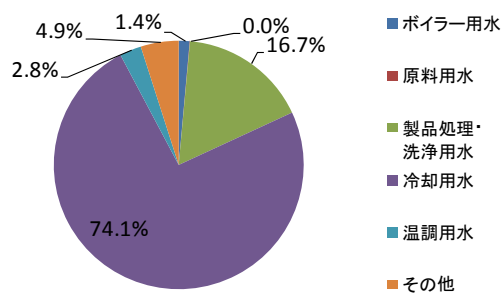


図 6-40 水源別使用率図



6-41 用途別使用率

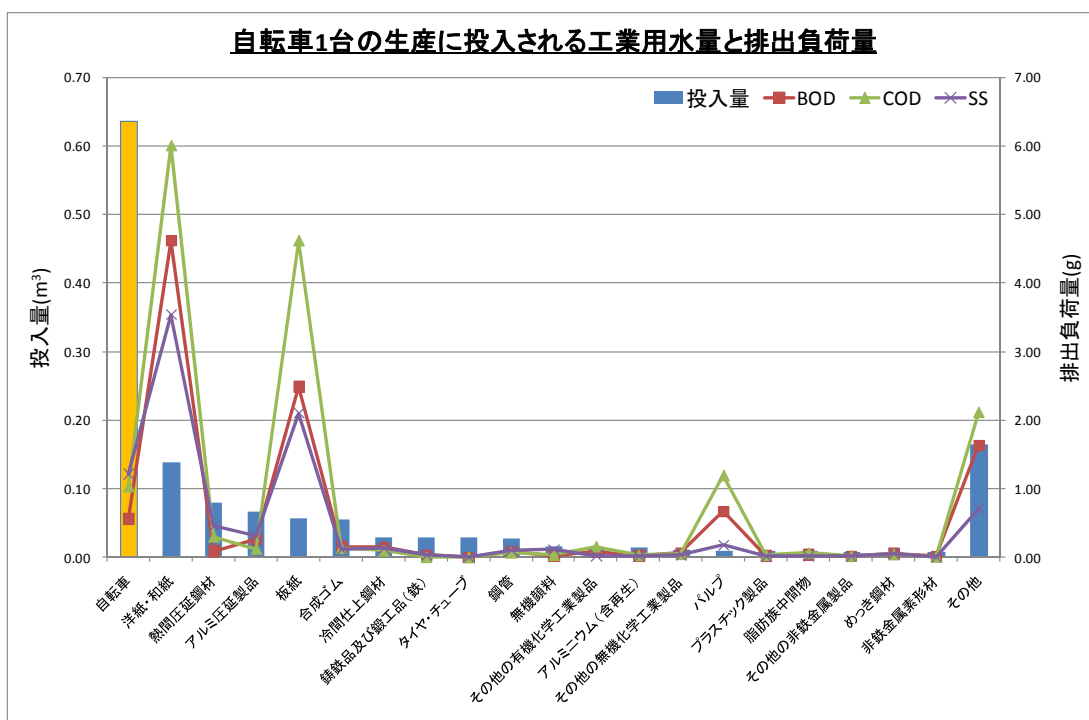


図 6-42 自転車一台の生産

6.8 検証

6.8.1 乗用車

社団法人産業環境管理協会では、経済産業省と NEDO 技術開発機構の推進のもとで、平成 10 年度から平成 14 年度にかけて 5 カ年の「第 1 期 LCA プロジェクト」を実施し、52 の工業会から自主的に提供された LCA データを「JLCA-LCA データベース」としてまとめている。JLCA-LCA データベース上の水に関する項目として、BOD,COD,SS を含む排水水質だけでなく、一部の製品については原料として「給水量」項を含んでいるものがある。ここでは、そのひとつである「乗用車」について、給水量及び排水水質を WLCA によるものと比較し、検証を行う。

JLCA-LCA データベースでの乗用車

対象とする乗用車の使用は、「4 ドアセダン、1500cc、ガソリン、FF、AT」であり、LCA の対象範囲は、「内製部品製造と完成車組み立てを対象」とし「外製部品は含まない」とする。車体重量「1037.471kg」のうち、内製分は「422.592kg」である。

また、LCA は産業連関法によるものではなく、個々の製品の値の積み上げによる「積み上げ法」によるものである。

比較

JLCA-LCA データベースでは乗用車の製造における給水量は、車体重量の半分以上を占める外製部品の分を含んでいない。外製部品の構成が不明であるため、ここでは給水量を内製分の重量で割ることで単位重量あたりの給水量を求め、車体重量と掛け合わせることで 1 台あたりの給水量とした。WLCA データについては、最終投入と間接投入を別々に分け、さらに間接投入については取水量上位 20 部門とその他を記載した（表 6-19）。

検証

投入量は、JLCA が 22.64m³であるのに対し、WLCA では 108.85m³である。また、WLCA の内訳は、最終投入水が 6.38m³、中間投入水が 115.23m³である。WLCA では、乗用車の一台の生産に最終的に必要となる全ての原材料についての投入量を計算しているため、JLCA における対象範囲以外のものを多分に含んでいると考えられる。また、JLCA においては、乗用車の構成部品が LCA の対象範囲でありながらも、給水量が測定されていない場合もある。例えば、構成部品の一つである乗用車用タイヤは重量が 30.3kg であるが、その

タイヤの生産における工業用水量は **JLCA** ではカウントされていない。よって、**WLCA** での給水量の値が **JLCA** の値より大きくなることは当然であると考えられる。しかし、**WLCA** の中間投入分に関して、**JLCA** の対象外であろうと思われるものを除けば、両者の値はかなり近いものになる。例えば、**WLCA** における乗用車、自動車部品、自動車用内燃機関・同部分品、自動車車体、内燃機関電装品の部門における合計値は **19.15m³** である。よって、**WLCA** によって得られた工業用水の投入量は、現実にかなり即したものであるといえる。

一方、工業用水の排水水質については、**JLCA** と **WLCA** の値は大きく乖離している。その一番の要因として、**WLCA** で設定した自動車関連部門の汚濁負荷除去率と、製造工場での現実の除去率に、差異が生じていることが考えられる。今回の **WLCA** では、除去率に関する適当なデータが存在していなかったため、異なる時点での異なる調査における汚濁負荷発生量と工場排水水質を用いて除去率を算出している。また、除去率は産業細分類ではなく中分類ごとに設定しているため、細かい部門における除去率を正確に反映したものではない。その結果、水質汚濁に関しては表 6-19 に見られる乖離が生じていると思われる。

表 6-19 乗用車の値比較

JLCA-LCAデータベース		投入量 (m ³)	BOD (g)	COD (g)	SS (g)
乗用車1台の製造		22.64	54	160	72
WLCA 部門名		投入量 (m ³)	BOD (g)	COD (g)	SS (g)
最終投入分 乗用車		6.38	407	690	252
中間投入分	自動車部品	8.29	137	234	163
	洋紙・和紙	5.02	167	217	127
	熱間圧延鋼材	4.89	5	18	28
	プラスチック製品	4.28	10	14	6
	自動車用内燃機関・同部分品	2.90	38	65	53
	めっき鋼材	2.41	14	11	15
	冷間仕上鋼材	1.96	10	6	9
	合成ゴム	1.78	5	4	4
	板紙	1.60	70	130	59
	鑄鉄品及び鍛工品(鉄)	1.55	2	0	1
	熱可塑性樹脂	1.51	5	9	3
	板ガラス・安全ガラス	1.16	6	13	8
	脂肪族中間物	1.14	5	7	2
	その他の合成樹脂	0.94	3	5	2
	自動車車体	0.87	23	38	16
	その他の有機化学工業製品	0.82	5	9	1
	その他のゴム製品	0.77	1	1	0
	その他の化学最終製品	0.73	6	11	3
	内燃機関電装品	0.71	2	1	3
	環式中間物	0.64	3	5	1
	その他	58.49	130	194	55
計		108.85	1051	1682	813

6.8.2 織物・ニット製衣服

A.K. Chapagain (2006)らは、著書、“The water footprint of cotton consumption: An assessment of the impact of worldwide consumption of cotton products on the water resources in the cotton producing countries”の中で、綿花の栽培からコットン最終製品の生産までに必要な水の量を、Green water、Blue water、Dilution water の3つに分類し、ジーンズ1枚あるいはTシャツ一枚あたりの水使用について、「積み上げ法」によるアプローチによって求めている（図 6-43）。

	Standard weight (g)	Virtual water content (l)			
		Blue water	Green water	Dilution water	Total volume of water
1 pair of Jeans	1000	4900	4450	1500	10,850
1 Single bed sheets	900	4400	4000	1350	9750
1 T-shirt	250	1230	1110	380	2720
1 Diaper	75	370	330	110	810
1 Johnson's cotton bud	0.333	1.6	1.5	0.5	3.6

図 6-43 コットン製品の生産に必要な水

A.K. Chapagain らは、コットン製品の製造段階に必要な水を、USEPA（1996）より引用している。ここでは、USEPA と WLCA のそれぞれの値を比較し、検証を行う。

比較

本研究では外衣一着あたりで計算を行っているが、外衣一着を 1kg と仮定し USEPA 値との比較を行った。本研究による値を表 6-20 に、USEPA による値を表 6-21 に示す。

検証

USEPA における値は、織物生地とニット生地の生産に要する用水量であるが、本研究では生地の生産を含めて外衣一着の生産に要した用水量を計算している。よって、表 6-20 では、WLCA により外衣の製造過程を遡り、織物製外衣では「綿・スウフ織物」、ニット製外衣では「ニット生地」の部門において投入された用水量と、それぞれの部門で発生した BOD、COD について表記した。USEPA 値と比較する際には、この「生地」部門での値と比較することが適切であると考えられる。生地部門での用水量を見ると、織物・ニット生地ともに、本研究の値と USEPA 値は非常に近いオーダーになっていることがわかる。本研究

での織物生地における用水量は、USEPA 値の Simple processing の Mod.に、ニット製生地では Complex processing の Min.にそれぞれ対応していると考えられる。また、BOD、COD についても同様に、本研究における生地部門は USEPA 値と非常に似た値になっている。

よって、実測値である USEPA 値と、WLCA による本研究の値が近いものであるということ、本研究の WLCA の有用性を示しているといえる。

表 6-20 本研究

用水量	本研究		
	最終投入水 L/kg	中間投入水 L/kg	生地 L/kg
織物製外衣	47.1	1221.5	74.7
ニット製外衣	46.9	576.1	17.1

BOD	本研究		
	最終投入水 g/kg	中間投入水 g/kg	生地 g/kg
織物製外衣	0.06	25.65	0.28
ニット製外衣	0.19	7.24	0.15

COD	本研究		
	最終投入水 g/kg	中間投入水 g/kg	生地 g/kg
織物製外衣	0.10	33.99	0.26
ニット製外衣	0.22	10.61	0.14

表 6-21 USEPA 値

	Water Usage(L/kg)			BOD (kg/ton)	COD (kg/ton)
	Min.	Mod.	Max.		
Woven fabric finishing					
Simple processing	12.5	78.4	275.2	22.6	92.4
Complex processing	10.8	86.7	276.9	32.7	110.6
Complex processing puls desizing	5.0	113.4	507.9	45.1	122.6
Knit fabric finishing					
Simple processing	8.3	135.9	392.8	27.7	81.1
Complex processing	20.0	83.4	377.8	22.1	115.4
Hosiery processing	5.8	69.2	289.4	26.4	89.4

考察

検証において、本研究の WLCA に一定の有用性があることが示されたが、これは A. K. Chapagain らが推定したコットン製品の「Virtual water content」は、「生地の製造」以外の製造プロセスを無視し、コットン製品に投入された水資源量を過少評価していることの証明にもつながるであろう。A.K.Chapagain らは、生地の製造のほかに、finishing stage と

して 136L/kg の水を勘定に入れている。しかし、WLCA によれば、織物製外衣の最終プロセスにおいて 47L の水が「最終投入」されているものの、織物製外衣を一枚製造するためには、生地製造のほかに 1147L もの水が「中間投入」されていることがわかる(表 6-20)。よって、A.K.Chapagain らの値は製造のある一部分のみに着目した値であるといえよう。

6.9 考察

この章では、いくつかの部門における個別製品に WLCA を行い、その製品が完成するまでにどのような材料や素材を通して、どれだけの水が、どの取水源から、どんな用途に使われ、どこでどれだけの水質影響を与えているかについて明らかにすることを試みた。その結果、いくつかの示唆を得ることができた。

まず、4 章でも明らかにしたように、一つの製品が完成するまでには、その生産プロセスや原材料の購入を通じて、大量の水資源が投入されているということである。パン一斤の製造に、パンの重さの約 14 倍もの水資源が投入されており、また、ウィスキーに関しては実に 70 倍もの水資源が投入されていることがわかる。

次に、製品に投入された水資源の種類やその用途は、完成品の特徴を表していることである。例えば、家電製品や自動車は製品自体に水を含まないで原料用水の比率は非常に小さいが、食品や飲料では多いもので約 5%の水が原料用水として使われている。また、飲料製品は河川水の使用率が少ないが、上水道や井戸水といったキレイな水資源の使用率が高くなる。このように、どのような製品をつくるのかによって、水源や用途に製品の特徴がでてくることがわかる。

環境面への影響から見ると、製品は大きく 2 つに分けられ、一方は「自部門での努力によって水資源の使用量や排水水質の改善を行うことができる」製品で、もう一方は「自部門では改善できないが、他部門から購入する製品を選択することで使用量や水質の改善を行うことができる」製品である。たとえばビールは前者にあたり、エアコンは後者にあたる。図 6-12 を見ると、ビールは自部門での水資源投入と SS の排出が突出していることがわかるが、図 6-27 を見ると、エアコンは他部門での水資源投入と排出負荷量が突出していることがわかる。こうした情報は消費側にとって非常に有益である。なぜなら、企業は自部門で投入した水資源量、あるいは発生した負荷量しか公表しないからである。製品の生産が環境に与える影響というのは、ライフサイクルを通して評価しなければわからないことであり、本来 LCA がその役割を担っていたのと同様に、WLCA は水の面に関してライフサイクルを通じた影響を明らかにすることができる。WLCA は、製品がもたらす Virtual Impact (実質的な影響) を客観的に評価する手法であり、企業にとっては新しく水の面から商品をアピールできるチャンスであり、人々にとっては省資源的な消費活動をするための一つの指標となるであろう。